

KIELER MEERESFORSCHUNGEN

Institut für Meereskunde der Universität Kiel

Herausgegeben von G. DIETRICH

unter Mitwirkung von

A. REMANE und E. SCHULZ (Zoologisches Institut),
F. DEFANT, F. GESSNER, K. KÄNDLER, W. KRAUSS, J. KREY,
C. SCHLIEPER und G. WÜST (Institut für Meereskunde)

Band XIX

1963

Heft 1

Sonderdruck S. 3—7

Ein neuer Dauerstrommesser

Von G. Dietrich und G. Siedler

Kommissionsverlag Walter G. Mühlaus, Kiel

Ein neuer Dauerstrommesser

Von G. DIETRICH und G. SIEDLER

Zusammenfassung: Der Strommesser registriert selbsttätig photographisch Stromrichtung und Stromgeschwindigkeit im Meere, und zwar bis zu einer Meßdauer von vier Wochen in Abständen von fünf Minuten. Er besitzt Eigenauftrieb und ist deshalb einfach zu verankern. Er kann bis Meßtiefen von 50 m ausgelegt werden. Dieser neue Strommesser nutzt die Vorzüge des Schaufelradstrommessers von H. RAUSCHELBACH, der sich seit 25 Jahren in vielen hundert Auslegungen bewährt hat. Er vermeidet einen wesentlichen Nachteil dieses Gerätes, der besonders in gezeitenstromarmen Meeren wie der Ostsee ins Gewicht fällt, nämlich die hohe Anlaufgeschwindigkeit. Das neue Gerät ist ein Propellerstrommesser, der bei nur 2,5 cm/sec Stromgeschwindigkeit anspringt. Selbst in Bodennähe randlicher Meeresbuchten wie der Eckernförder Bucht konnten brauchbare Strommessungen über längere Zeiträume erzielt werden.

A new, permanently recording current meter. (Summary): The current meter records automatically by photographing the scales for current direction and velocity for a measuring period of four weeks in intervals of five minutes. It has own buoyancy, is therefore easy to be moored, and can be placed down to a maximum measuring depth of 50 m. This new current meter uses the advantages of the paddle-wheel current meter of H. RAUSCHELBACH which has proved satisfactory in many cases for 25 years. It avoids an essential disadvantage of the paddle-wheel current meter, namely the high velocity, necessary to start rotation of the paddle-wheel. This is of special importance in seas with less tidal currents like the Baltic. The new instrument is an impeller current meter which starts at only 2.5 cm/sec current velocity. Even near the bottom in marginal bays like the Eckernförder Bucht (western Baltic) efficient current measurements could be achieved over longer periods.

Einleitung

Die hohen Anforderungen, die an die Auskünfte über die Wasserbewegungen im Meere gestellt werden, sind nur mit verankerten Dauerstrommessern zu erfüllen. Diese Feststellung ist nicht neu. Ihre Verwirklichung wurde von einem Nestor der Meeresforschung, von OTTO PETTERSSON (1913) eingeleitet. Sie führte zu verschiedenen Gerätetypen, wobei vorwiegend die folgenden vier Meßelemente für die Bestimmung der Geschwindigkeit verwendet wurden: Das Schaufelrad, der Savoniusrotor, das Pendel und der Propeller. So findet man das Schaufelrad bei H. RAUSCHELBACH seit 1938 (J. JOSEPH, 1948), den Savoniusrotor bei W. S. RICHARDSON (1961) und bei R. M. SNYDER und E. H. CHUTE (1962), das Pendel bei W. KRAUSS (1960) und den Propeller bei E. B. ROBERTS (1950).

In Deutschland hat der Schaufelradstrommesser sich seit 25 Jahren in vielen hundert Auslegungen in der offenen Nordsee und in den Seewasserstraßen hervorragend bewährt (Deutsches Hydrographisches Institut, 1958, 1960). Mit zahlreichen gleichzeitig in verschiedenen Meßtiefen ausgelegten Geräten dieses Typs konnten die ersten synoptischen Strombilder eines ganzen Seegebietes in der Nordsee auch bei starken Stürmen gewonnen werden (G. DIETRICH, 1956). Der im folgenden beschriebene Strommesser gibt die großen Vorzüge des Schaufelradstrommessers nicht auf (Robustheit, einfache Auslegung, Registrierdauer bis 4 Wochen, hohe Meßgenauigkeit, verwendbar bis Meßtiefen von 50 m); er vermeidet aber dessen Nachteil, der ihn in gezeitenstromarmen Meeren wie der Ostsee nicht allgemein anwendbar machte, nämlich die relativ hohe Anlaufgeschwindigkeit von 15–20 cm/sec. Durch Verwendung eines besonders wirksamen Propellers und durch die Anordnung der Registriereinrichtung konnte die Anlaufgeschwindigkeit auf 2,5 cm/sec herabgesetzt werden.

Arbeitsweise

Das Gerät besitzt als Meßelemente einen Propeller zur Geschwindigkeitsbestimmung und einen Flüssigkeitskompaß zur Richtungsanzeige. Der aus glasfaserverstärktem Polyester hergestellte Propeller befindet sich in einem Schutzrahmen an der Vorderseite eines Gehäuses aus seewasserbeständigem Leichtmetall, das den Kompaß und die Registriereinrichtung enthält. Abb. 1 zeigt die Außenansicht des Strommessers, Abb. 3 die des Registrierwerks.

Den schematischen Aufbau des Gerätes erkennt man aus Abb. 6. Die Achse des Propellers (2) wird über eine Magnetkupplung (1) mit der Achse im Gehäuse verbunden, die über ein Untersetzungsgetriebe die Geschwindigkeitszählscheibe (4) antreibt. Die Meßwertaufzeichnung erfolgt über einen 16-mm-Negativ-Film (6), auf dem mit einer Kamera (5) je ein Ausschnitt der Zählscheibe und der Kompaßscheibe abgebildet werden. Der Film wird alle fünf Minuten belichtet. Den Filmtransport und die Belichtungssteuerung besorgt ein Doppelfederwerk (11), das über ein Untersetzungsgetriebe mit Gangregler (12) einerseits über ein Kegelradgetriebe die Filmantriebsrolle (10) und zum anderen ein Zylinderschaltwerk mit einstellbarer Belichtungszeit (15) antreibt. Eine Rutschkupplung (14) sorgt für ein gleichmäßiges Aufwickeln des Filmes in der Aufwickelkassette (8).

Den optischen Strahlengang in der Kamera gibt Abb. 7 an. Über das Zylinderschaltwerk (2) wird die von vier 1,5-V-Monozellen versorgte Glühlampe (1) eingeschaltet. Von dort führt der eine Weg des Lichtes über die Geschwindigkeitszählscheibe (9) und ein anderer Weg über die Kompaßrose (8) auf das Objektiv (5), das beide Scheibenausschnitte nebeneinander auf dem Film (6) abbildet. Den tatsächlichen Aufbau des Registrierwerkes zeigt Abb. 4. Man erkennt ganz rechts die Kupplungsöffnung für die Geschwindigkeitszählachse, die durch das Uhrwerk hindurchgeführt ist. In der Mitte sieht man das Gehäuse, das die Kamera, die Zählscheibe und den Kompaß enthält. Oben ist die Glühlampenfassung und unten das Filmfenster sichtbar. Links neben dem Filmfenster befindet sich die Filmantriebsrolle, und rechts und links vom Gehäuse sind die Filmkassetten angebracht.

Zur Konstruktion

Bei der Konstruktion dieses Strommessers wurde vor allem darauf geachtet, daß zur Erzielung einer niedrigen Anlaufgeschwindigkeit die Strömung für die Umdrehung des Propellers möglichst vollständig ausgenützt wird. Da der wegen des Eigenauftriebs verhältnismäßig große Gehäusekörper die Strömung merkbar beeinflusst, wurde zuvor näherungsweise untersucht, welcher Mindestabstand des Propellers vor dem Gehäuse zweckmäßig ist. Es wurde das Strömungsbild eines halbunendlichen Rotationskörpers berechnet, das man unter Voraussetzung einer inkompressiblen, wirbelfreien und stationären Strömung durch Überlagerung einer Translationsströmung mit einer Quelle erhält. Aus dem Geschwindigkeitspotential φ_1 der Translationsströmung und φ_2 der Quelle erhält man als Strömungspotential φ in den Zylinderkoordinaten ρ und z :

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = v_\infty z - \frac{q}{4\pi} \frac{1}{\sqrt{z^2 + \rho^2}}$$

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

Abb. 1: Außenansicht des neuen Dauerstrommessers

Abb. 2: Gesamtanordnung vor dem Auslegen

Abb. 3: Registrierwerk des neuen Dauerstrommessers mit lichtdichter Haube

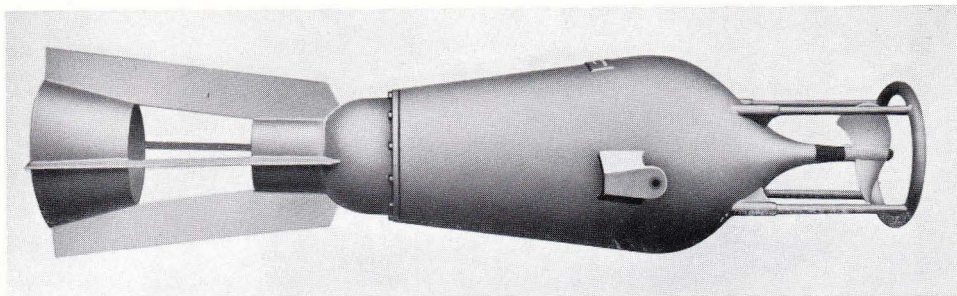


Abb. 1



Abb. 2

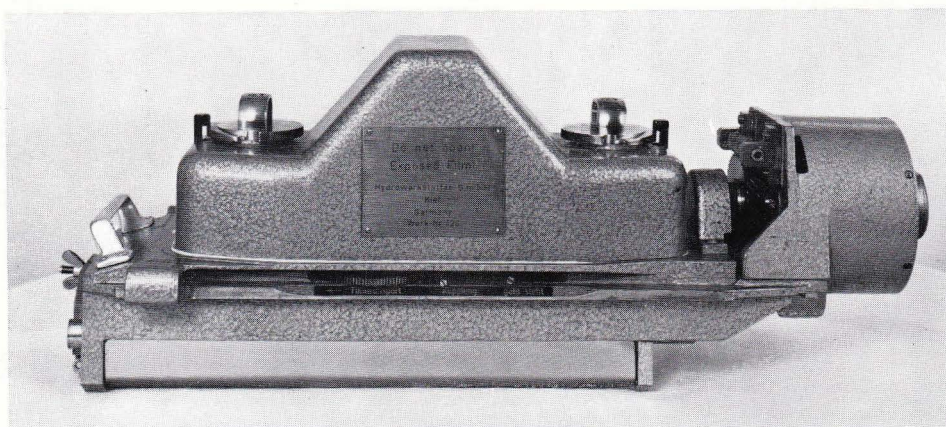


Abb. 3

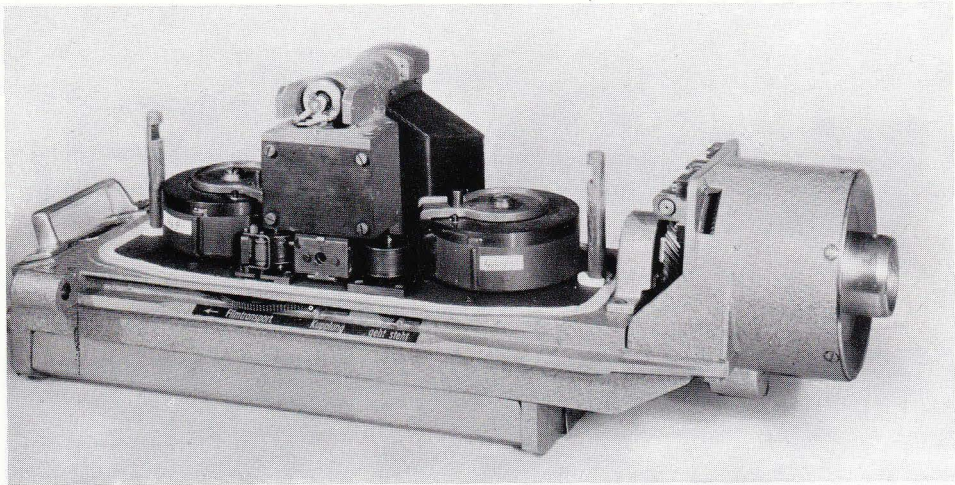


Abb. 4

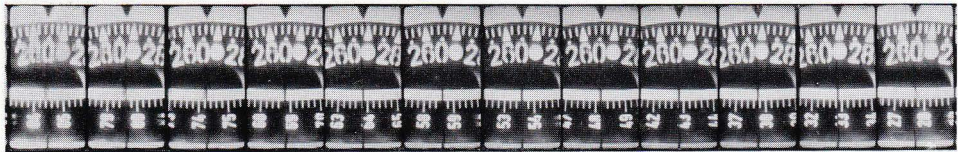


Abb. 5

Dabei sind v_∞ die Geschwindigkeit der ungestörten Translationsströmung und q die Quellstärke. Mittels der CAUCHY-RIEMANNschen Differentialgleichungen erhält man die Strömungsfunktion ψ :

$$\psi = -\frac{1}{2} \rho^2 v_\infty + \frac{q}{4\pi} \frac{z}{\sqrt{z^2 + \rho^2}} + \frac{q}{4\pi}$$

Die additive Konstante $\frac{q}{4\pi}$ erhält man dabei, wenn man für die Oberfläche des Rotationskörpers $\psi = 0$ setzt und berücksichtigt, daß sich mit dem Grenzwert ρ_∞ des Radius dieses Körpers für die Quellstärke ergibt:

$$q = \rho_\infty^2 \pi v_\infty$$

Um eine dimensionslose Darstellung zu erhalten, führt man die folgende Koordinatentransformation durch:

$$z = \rho_\infty \cdot a \quad \rho = \rho_\infty \cdot b$$

Damit erhält man:

$$\begin{aligned} \varphi &= v_\infty \rho_\infty \left[a - \frac{1}{4(a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \\ \psi &= v_\infty \rho_\infty^2 \left[-\frac{b^2}{2} + \frac{1}{4} \left(\frac{a}{(a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}}} + 1 \right) \right] \end{aligned}$$

Die Körperkontur entsprechend $\psi = 0$ ist in Abb. 8 dargestellt. Die auf den Propeller wirkende Geschwindigkeit in der Achsrichtung z ergibt sich zu:

$$v_z = \frac{\partial \varphi}{\partial z} = \frac{1}{\rho_\infty} \frac{\partial \varphi}{\partial a} = v_\infty \left[1 + \frac{a}{4(a^2 + b^2)^{\frac{3}{2}}} \right]$$

Das Verhältnis v_z/v_∞ ist in Abhängigkeit von $a(\rho)$ in Abb. 9 und in Abhängigkeit von $b(\rho)$ in Abb. 10 aufgetragen. Die Kurven geben die Störung des Strömungsfeldes vor dem Rotationskörper wieder. Man erhält daraus die mittlere Strömungsgeschwindigkeit \bar{v}_z , die auf einen Propeller mit dem Radius $\bar{\rho}$ im Abstand z von der Quelle wirkt:

$$\frac{\bar{v}_z}{v_\infty} = \frac{2}{b^2} \int_0^b \frac{v_z}{v_\infty} b \, db$$

Das Ergebnis der Integration ist in Abb. 11 dargestellt. Aus Abb. 8 entnimmt man die Beziehung für den Abstand d zwischen Propeller und Rotationskörper:

$$d = \rho_\infty (a - 0,5)$$

Verwendet man einen Körperradius ρ_∞ von 28 cm und einen Propellerradius ρ_p von 14 cm, so erhält man bei einem Abstand d von 37 cm eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit, die etwa 80% der Geschwindigkeit der ungestörten Strömung beträgt. Dieser Wert wurde gewählt, weil eine weitere Vergrößerung des Abstandes keine erhebliche Steigerung der mittleren Geschwindigkeit ergibt. In der tatsächlichen Ausführung

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

Abb. 4: Registrierwerk in geöffnetem Zustand

Abb. 5: Meßfilm-Ausschnitt aus einer Registrierung des neuen Dauerstrommessers (dreifache Vergrößerung)

des Gerätes wurde der Vorderseite des Körpers zur Erhöhung der mechanischen Stabilität der Propellerbefestigung eine Form entsprechend Abb. 1 gegeben.

Für die wichtigsten technischen Daten ergaben sich bei dem Gerät folgende Werte:
Geschwindigkeitsmessung: Bereich 2,5—100 cm/sec, Ablesegenauigkeit 0,1 cm/sec

Richtungsmessung: Bereich 0—360°, Anzeigegegenauigkeit 1°

Maximale Registrierdauer: 28 Tage

Meßzeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Registrierungen: 5 Minuten

Maße: Länge 245 cm, Gehäuse-Außendurchmesser 56 cm, Propellerdurchmesser 28 cm

Gesamtgewicht in Luft: 78 kg

Eigenauftrieb: 120 kg

Zulässige Meßtiefe: 50 m

Der Strommesser wird entsprechend Abb. 12 so ausgelegt, daß er über einen Wirbelschäkel durch ein Stahlseil an einem Ankerstein gehalten wird. Von dort geht das Seil über einem zweiten Ankerstein zur Markierungsboje. Beim Auslegen und Aufnehmen hängt der Strommesser an diesem Stahlseil. Die Gesamtanordnung an Bord vor dem Auslegen zeigt Abb. 2.

Erprobung

Die ersten beiden Geräte des beschriebenen Typs wurden im Sommer 1962 im Rahmen von Untersuchungen in der Ostsee in der Eckernförder Bucht ausgelegt. Abb. 5 zeigt einen Ausschnitt der Messung. Man erkennt jeweils oben einen Teil der Kompaßrose und unten einen Ausschnitt der Geschwindigkeitszählscheibe. Die Auswertung der Registrierung auf Position $\varphi = 54^{\circ} 30,2' N$, $\lambda = 10^{\circ} 3,3' E$, wo der Strommesser in einer Meßtiefe von 19 m und 4 m über Grund ausgelegt war, für die Zeit von 8⁴⁸ bis 14⁴⁸ Uhr am 16. Oktober 1962 ist in Abb. 13 wiedergegeben. Infolge der geringen Stromgeschwindigkeiten in diesem Teil der Ostsee blieb der Propeller in der Zeit von etwa 10⁵⁰ bis 12²⁵ Uhr stehen. Da der genaue Zeitpunkt des Aussetzens und Wiedereinsetzens der Geschwindigkeitsmessung nicht bekannt ist, sind die durch einen Kreis gekennzeichneten Zählscheibenwerte unmittelbar vor und nach dem Stehenbleiben unsicher. Trotzdem erkennt man die niedrige Anlaufgeschwindigkeit von etwa 2,5 cm/sec bei dem Meßwert von 12²⁸ Uhr.

Die Verfasser danken der Herstellerfirma Hydrowerkstätten Kiel für die Bereitstellung von technischen Unterlagen sowie der Hamburgischen Schiffbau-Versuchsanstalt für die Durchführung der Berechnungen zur Anströmung.

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

Abb. 6: Schematischer Aufbau des neuen Dauerstrommessers (1 Magnetkupplung, 2 Meßpropeller, 3 Kupplung, 4 Geschwindigkeitszählscheibe, 5 Kamera, 6 Filmstreifen, 7 Filmvorratskassette, 8 Filmaufwickelkassette, 9 Filmleitrolle, 10 Filmantriebsrolle, 11 Uhrwerk, 12 Untersetzungsgetriebe mit Gangregler, 13 Filmtransportkupplung, 14 Rutschkupplung, 15 Zylinderschaltwerk)

Abb. 7: Strahlengang in der Kamera (1 Glühlampe, 2 Zylinderschaltwerk, 3 Kondensor, 4 Strahlenumlenkspiegel, 5 Objektiv, 6 Filmstreifen, 7 Lichtbildkompaß, 8 Kompaßrose, 9 Geschwindigkeitszählscheibe)

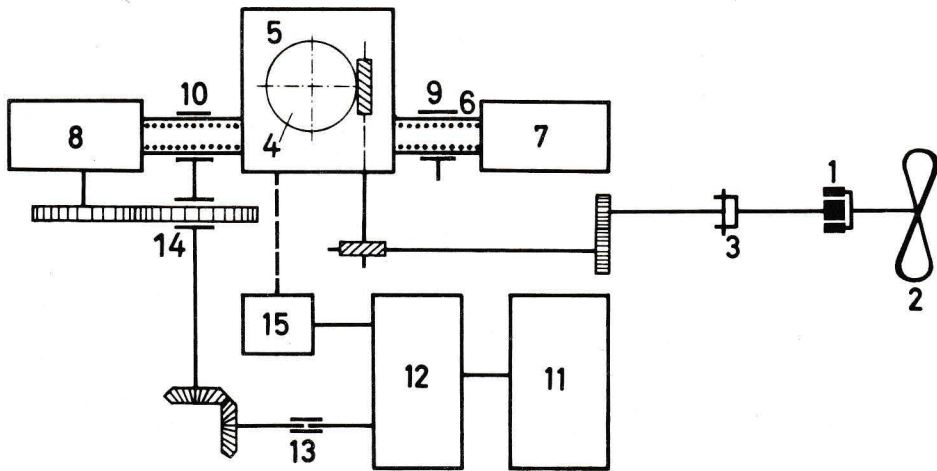


Abb. 6

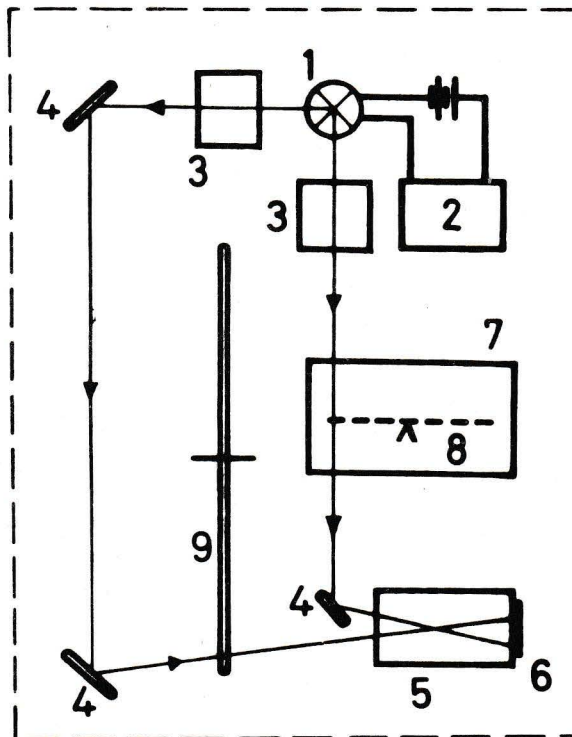
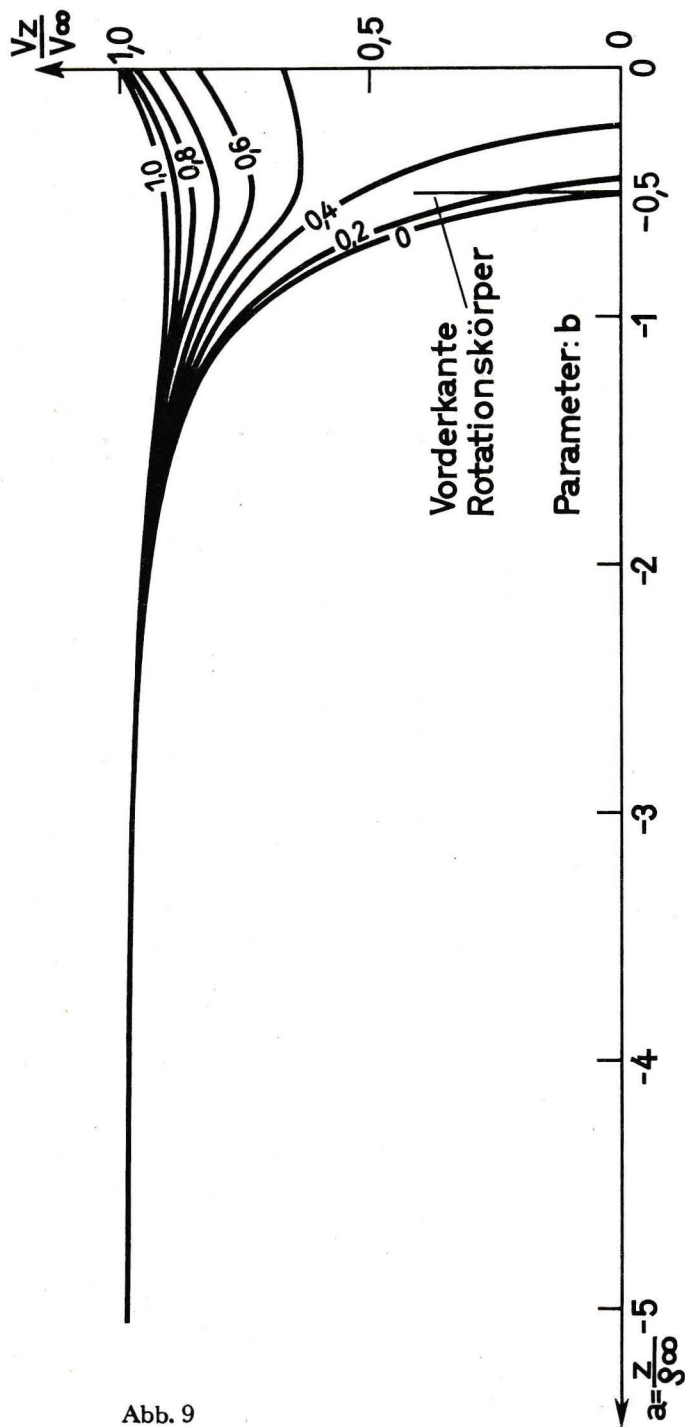
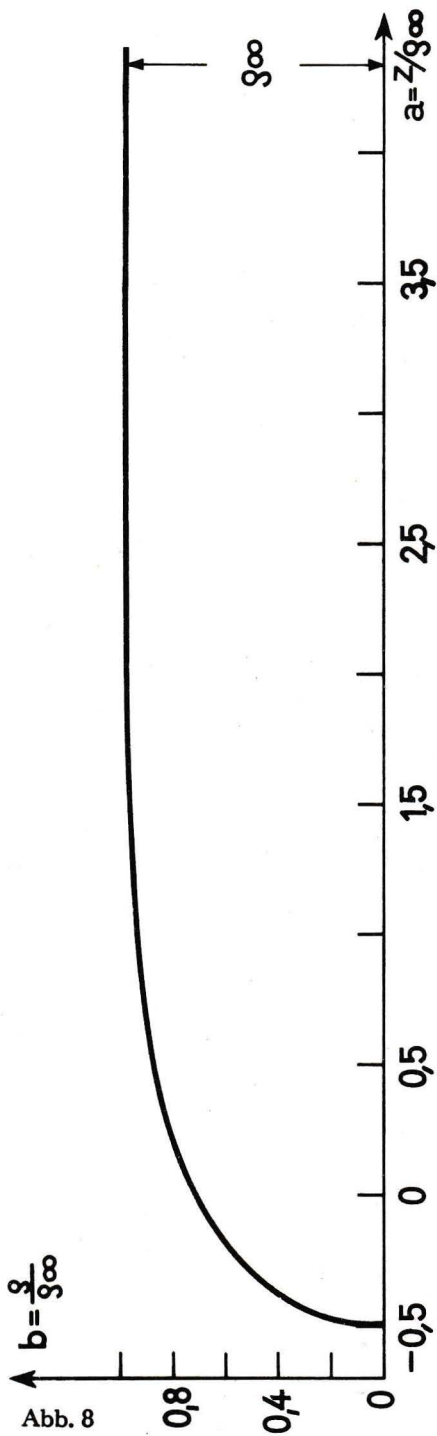


Abb. 7



Tafel 4 (zu G. Dietrich und G. Siedler)

Legende zu den obenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

Abb. 8: Kontur eines halbunendlichen Rotationskörpers

Abb. 9: Relative Geschwindigkeitsänderung in Abhängigkeit von $a(z)$ mit dem Parameter $b(\rho)$

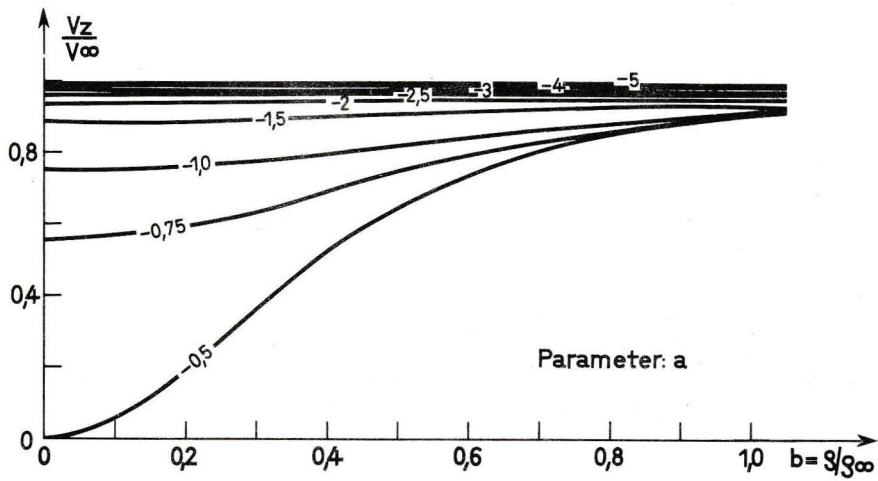


Abb. 10

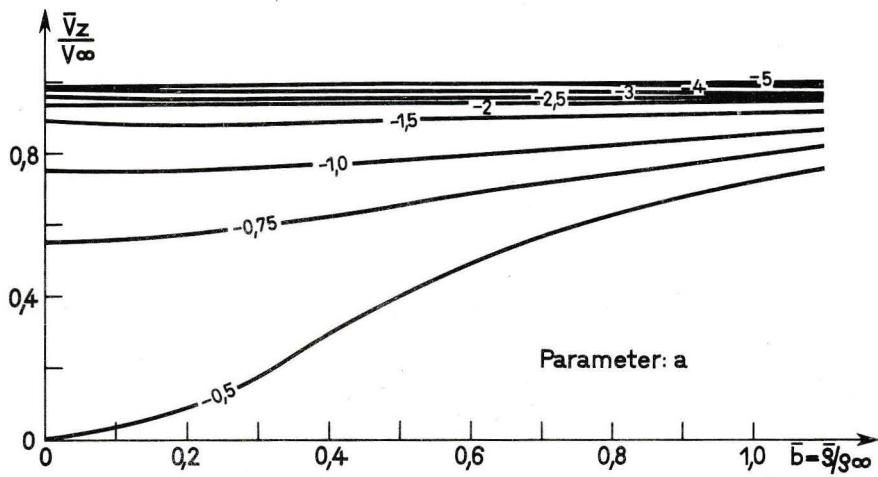


Abb. 11

Tafel 5 (zu G. Dietrich und G. Siedler)

Legende zu den obenstehenden Abbildungen (Tafel 5):

Abb. 10: Relative Geschwindigkeitsänderung in Abhängigkeit von b (ρ) mit dem Parameter a (z)

Abb. 11: Relative Änderung der mittleren Geschwindigkeit in Abhängigkeit von \bar{b} (ρ) mit dem Parameter a (z)

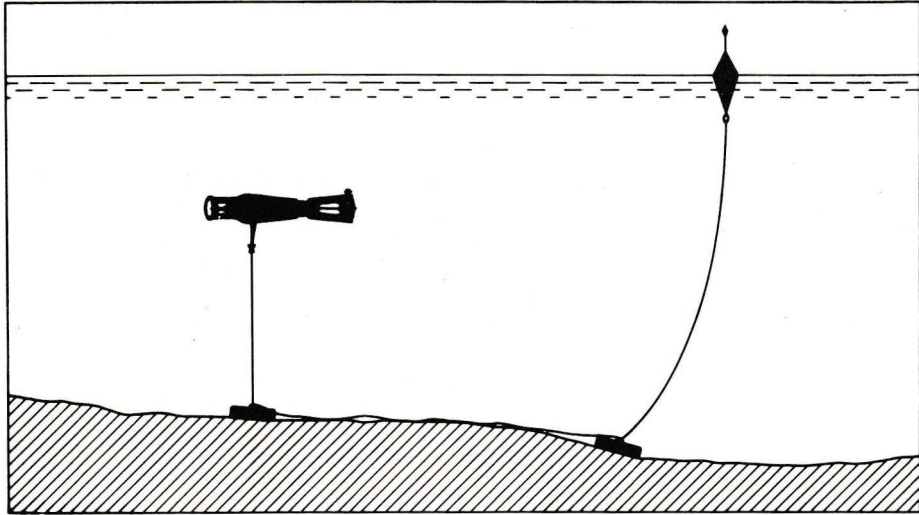


Abb. 12

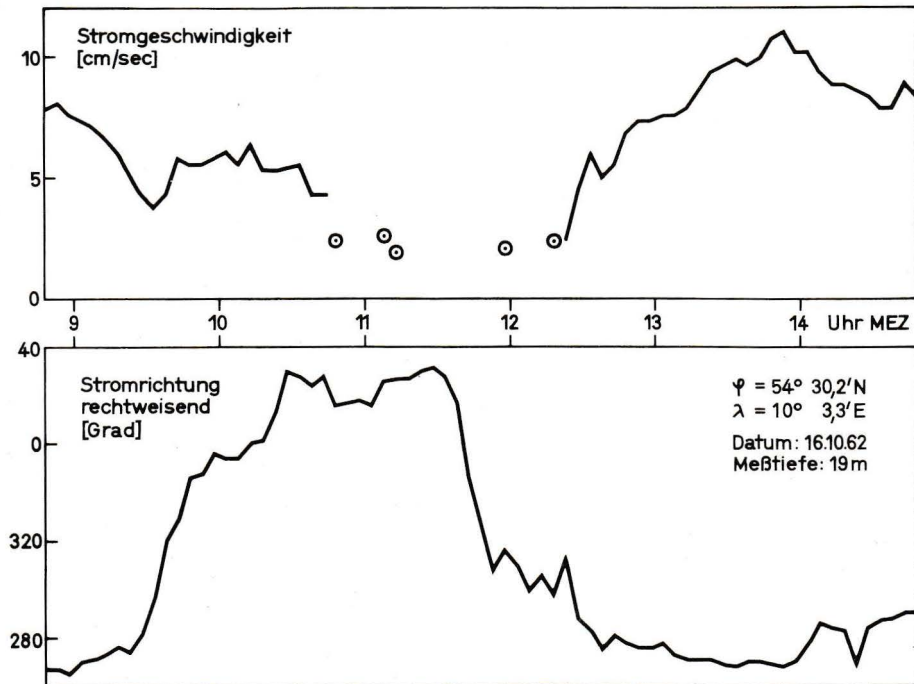


Abb. 13

Literaturverzeichnis

Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg (1958): Strombeobachtungen in der südwestlichen Nordsee. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse, Nr. 9. — Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg (1960): Strombeobachtungen in der Deutschen Bucht. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse, Nr. 13. — Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg (1960): Strombeobachtungen in der Deutschen Bucht. Meereskundliche Beobachtungen und Ergebnisse, Nr. 15. — DIETRICH, G. (1956): Ergebnisse synoptischer ozeanographischer Arbeiten in der Nordsee. Deutscher Geographentag Hamburg, 1955. Wiss. Abhandl. 376—383, Wiesbaden. — JOSEPH, J. (1948): Meereskundliche Meßgeräte. Naturforsch. u. Med. in Deutschland 1939—1946, **18**, Geophysik II, 178—214. — KRAUSS, W. (1960): Hydrographische Messungen mit einem Beobachtungsmast in der Ostsee. Kieler Meeresf. **16**, 13—27. — PETTERSSON, O. (1913): Photographisch registrierender Tiefenstrommesser für Dauerbeobachtungen. Svenska Hydr. Biol. Komm. Skr. V. Göteborg. — RICHARDSON, W. S. (1961): Current measurements from moored buoys. Instrument Society of America, Marine Sciences Instrumentation, New York, Vol. 1, 1962. — ROBERTS, E. B. (1950): Roberts radio current meter, Mod. II. Operating Manual. U.S. Coast and Geod. Surv., Washington. — SNYDER, R. M. and CHUTE, E. H. (1962): Telemetering current meter. Woods Hole Oceanogr. Inst., Ref. No. 62—21 (Unpublished manuscript).

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 6)

Abb. 12: Auslegeprinzip des neuen Dauerstrommessers

Abb. 13: Registrierung vom 16. Oktober 1962 auf Position $\varphi = 54^{\circ}30,2' \text{ N}$, $\lambda = 10^{\circ}3,3' \text{ E}$ (Eckernförder Bucht in der westlichen Ostsee)